

ABSTRAK

Sistem Penentuan Lokasi Sejagat (GPS) telah digunakan secara meluas untuk memantau struktur kejuruteraan besar seperti empangan, jambatan, menara dan bangunan tinggi. Terdapat beberapa kaedah GPS yang boleh digunakan untuk penentuan koordinat termasuklah kaedah Kinematik Masa Hakiki (RTK-GPS). Kaedah ini melibatkan cerapan fasa pembawa dalam masa hakiki untuk mendapatkan koordinat kedudukan. Koordinat yang dihasilkan oleh kaedah ini boleh menunjukkan anjakan yang berlaku akibat gegaran yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti perubahan suhu, tiupan angin, gempa bumi, tanah runtuh dan faktor-faktor alam sekitar yang lain. Dalam kajian ini, satu teknik berdasarkan konsep domain masa telah dibangunkan untuk menganalisis tindakbalas sesuatu struktur atau objek. Teknik ini menggunakan algoritma siri masa untuk mengesan pergerakan yang berlaku dan menghasilkan ramalan bagi pergerakan sesebuah struktur. Isyarat getaran yang diperolehi dari penerima GPS digunakan untuk memodelkan siri masa Autoregresi Purata Bergerak Bersepadu (ARIMA) berdasarkan metodologi *Box-Jenkins*. Kaedah ini digunakan untuk membuat ramalan dan ia menggunakan pendekatan iteratif untuk mengenalpasti model yang sesuai. Model ARIMA akan diterima melalui empat langkah utama iaitu mengenalpasti model, menganggar parameter model, menyemak model dan membuat ramalan model. Dalam kajian ini, perisian *Minitab* digunakan untuk membangunkan model ARIMA yang boleh digunakan untuk membuat ramalan terhadap data cerapan GPS. Hasil kajian ini diperolehi dengan menggunakan model ARIMA untuk paksi X, Y dan Z. Hasil kajian ini juga membuktikan bahawa model ARIMA mampu mengesan pergerakan struktur berdasarkan analisis yang telah dijalankan.

ABSTRACT

Global Positioning System (GPS) has been widely used to monitor large engineering structures such as dams, bridges, towers and high rise buildings. There are several GPS methods that can be used for coordinate determination including Real Time Kinematic (RTK-GPS). This method uses carrier phase observation in real time to determine position coordinates. The coordinates produced by this method can indicate the displacement due to vibration caused by several factors such as temperature change, wind loading, earthquakes, landslides and other environmental factors. In this study, a technique based on time domain has been developed to analyze the response of a structure or an object. This technique uses time series algorithm to detect movements that occur and produces forecasting of movements of the object. The vibration signal obtained by the GPS sensor is used to model Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) time series based on Box-Jenkins methodology. This method is used for making forecasting and it uses iterative approach to identify appropriate model. ARIMA model can be accepted after passing through four main steps that is identification of model, estimation of model parameter, model checking and forecasting of model. In this study, the *Minitab* software was used to develop the ARIMA model which can be used for forecasting of observed GPS data. The results of this study were obtained using the ARIMA model for the X, Y and Z axes. Also the results of this study proved that ARIMA model is capable of detecting movement of structures based on analyses that have been carried out.

ISI KANDUNGAN

BAB	PERKARA	HALAMAN
	STATUS PENGESAHAN TESIS	
	PENGESAHAN PENYELIA	
	PENGESAHAN KERJASAMA	
	HALAMAN JUDUL	i
	PERAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	ISI KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	xi
	SENARAI RAJAH	xii
	SENARAI SINGKATAN	xv
	SENARAI ISTILAH	xvi
1	Pengenalan	
1.1	Pendahuluan	1
1.2	Penyataan Masalah	5
1.3	Tujuan dan Objektif Kajian	7
1.4	Metodologi Kajian	7
1.5	Skop Kajian	8
1.6	Kepentingan Kajian	9
1.7	Aliran Penulisan Bab	10

2	TEKNOLOGI GPS DAN PEMANTAUAN STRUKTUR	
2.1	Pendahuluan	11
2.2	Pengenalan Sistem Penentuan Posisi Sejagat (GPS)	11
2.3	Kinematik Masa Hakiki Sistem Penentuan Posisi Sejagat (RTK-GPS).	15
2.4	Aplikasi dan Kemampuan GPS dalam Pemantauan Struktur	17
2.5	Penjelmaan Fourier Pantas (FFT), Penjelmaan Wavelet dan Kalman Filter dalam Pemantauan Struktur	18
2.5.1	Penjelmaan Fourier Pantas	19
2.5.2	Penjelmaan Wavelet	20
2.5.3	Kalman Filter	20
2.6	Konsep dan Aplikasi Siri Masa dalam Bidang Pemantauan	21
2.7	Pakej Perisian Komputer untuk Memabangunkan Ramalan	25
3	ANALISIS SIRI MASA	
3.1	Pendahuluan	26
3.2	Kenal Pasti Bentuk Data dalam Siri Masa	27
3.2.1	Bentuk Sistemik dan Hingar Rawak	27
3.2.2	Dua Aspek Umum bagi Bentuk Siri Masa	28
3.2.3	Analisis <i>Trend</i>	28
3.2.4	Analisis Data Bermusim	29
3.3	ARIMA	30
3.3.1	Dua Proses dalam ARIMA	30
3.3.1.1	<i>Autoregressive</i>	31
3.3.1.2	<i>Moving Average</i>	31
3.4	Membangunkan Model ARIMA menggunakan <i>Box-Jenkins</i>	32
3.4.1	Pengenalpastian Model	33
3.4.2	Menganggarkan Model	34
3.4.3	Pemeriksaan Model	35
3.4.4	Ramalan Menggunakan Hasil Model ARIMA	36

3.5	Rumusan	37
4	METODOLOGI KAJIAN	
4.1	Pendahuluan	38
4.2	Perancangan Pengukuran	40
4.3	Pengumpulan Data	42
4.3.1	Ujikaji Kawalan	42
4.3.2	Ujikaji Jambatan Gegar	49
4.4	Pemprosesan Data	52
4.4.1	Pemprosesan Data GPS	53
4.4.2	Pemprosesan Data <i>Accelerometer</i>	55
4.5	Membangunkan Model Ramalan	58
4.6	Membuat Ramalan Data GPS dengan Perisian <i>Minitab</i>	65
5	HASIL DAN ANALISIS	
5.1	Pendahuluan	72
5.2	Analisis Isyarat GPS (RTK-GPS)	73
5.2.1	Hasil dan Analisis Isyarat GPS bagi Ujikaji Kawalan	74
5.2.2	Hasil dan Analisis Isyarat GPS dalam Ujikaji Jambatan Gegar	77
5.3	Analisis Hasil Data <i>Accelerometer</i>	87
5.3.1	Hasil dan Analisis data <i>Accelerometer</i> bagi Ujikaji Kawalan	87
5.3.2	Hasil dan Analisis data <i>Accelerometer</i> bagi Ujikaji Jambatan Gegar	90
5.3.3	Graf Hasil daripada data GPS dan <i>Accelerometer</i> bagi Ujikaji Jambatan Gegar	92
5.4	Analisis Membangunkan Model Ramalan (ARIMA)	96
5.4.1	Hasil dan Analisis Model ARIMA dari Data GPS	98
5.4.2	Model Ramalan ARIMA(0,1,1) untuk Paksi X	100

5.4.3	Model Ramalan ARIMA(0,1,1) untuk Paksi Y	105
5.4.4	Model Ramalan ARIMA(0,1,1) untuk Paksi Z	108
5.4.5	Rumusan Model ARIMA	112
6	KESIMPULAN DAN CADANGAN	
6.1	Pendahuluan	114
6.2	Kesimpulan	115
6.2.1	Lokasi Kajian	115
6.2.2	Peralatan	116
6.2.3	Membangunkan Model Ramalan	117
6.2.4	Kesimpulan Akhir	118
6.3	Cadangan	118
	BIBLIOGRAFI	120

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Lebih sedekad yang lalu, teknologi Sistem Penentuan Lokasi Sejagat (Global Positioning System-GPS) telah digunakan untuk aktiviti pemantauan struktur. Kajian dan demonstrasi telah banyak dijalankan oleh pengkaji yang lepas untuk mengkaji kebolehsanaan teknologi GPS bagi memantau pergerakan dinamik terhadap bangunan tinggi, jambatan gantung dan struktur binaan yang lain. Kepesatan pembangunan seiring dengan kemajuan teknologi GPS menyebabkan semakin banyak aplikasinya digunakan dalam kehidupan seharian.

Alat GPS menjadi semakin mudah dari setiap aspek seperti peralatan yang semakin ringan, mudah dibawa serta mesra pengguna. Secara amnya tujuan kerja-kerja pemantauan struktur dijalankan adalah seperti berikut:

- i. Memastikan keselamatan pengguna struktur tersebut.
- ii. Untuk mengetahui jangka hayat struktur binaan terbabit.
- iii. Untuk mendapatkan perancangan yang lebih ekonomi bagi aktiviti penyelenggaraan.
- iv. Untuk mengetahui jika berlakunya pergerakan yang tidak normal sehingga mengurangkan tahap kecekapan struktur terbabit.

Pemilihan teknologi GPS ini digunakan dalam sistem pemantauan struktur kerana beberapa faktor seperti peralatan yang lebih kompak, mempunyai kolaborasi antarabangsa, sangat ekonomi dari segi peralatan serta perisian disamping mudah untuk didapati. Selain itu, pengukuran bagi anjakan dalam keadaan statik dan separa statik lebih mudah dilakukan dengan menggunakan GPS.

Kerja-kerja awal pemantauan dinamik bagi struktur kejuruteraan bermula pada pertengahan 1990an. Selepas itu, muncul pula teknik pengukuran yang lebih mudah iaitu pengukuran dengan kaedah kinematik masa hakiki (RTK-GPS). Sekitar tahun 1993, satu ujian telah dijalankan iaitu ujian pemantauan dinamik bagi struktur tinggi menggunakan alat GPS. Struktur tersebut adalah menara Calgary yang terletak di Alberta, Canada. Menara ini mempunyai ketinggian 160m dan pergerakannya dipengaruhi oleh faktor beban angin. Hasil daripada ujian tersebut mendapati pergerakan menara adalah sebanyak 0.36Hz yang disebabkan oleh kelajuan angin 60-100km/j (Lovse *et al.*, 1995).

Guo dan Ge, (1996) telah menjalankan uijikaji yang sama di China untuk mengukur anjakan dan frekuensi Menara Diwang yang terletak di bandar Shenzhen setinggi 325m dengan 68 tingkat. Pengukuran dibuat berdasarkan faktor beban angin yang berpunca dari taufan York. Taufan York adalah taufan yang terkuat pernah berlaku di daerah tersebut sejak 1983. Hasil daripada pengukuran yang dilakukan amplitud dan frekuensi bagi menara yang dikesan adalah sebanyak 0.17Hz disebabkan oleh kelajuan angin 90km/j. Berlainan pula di California, risiko tinggi berlakunya gempa bumi telah menyebabkan pengkaji dari Geological Survey, Amerika Syarikat (USGS) berjaya menguji kebolehlaksanaan teknologi GPS untuk memantau tindakbalas dinamik bangunan yang dipengaruhi oleh kesan dari gempabumi. Hasil dari ujian tersebut telah dilaporkan oleh Celebi *et al.* (1998).

Berikut adalah contoh-contoh pemantauan struktur jambatan yang menggunakan GPS. Pada tahun 1996, Ashkenazi *et al.* melaporkan pemantauan struktur menggunakan teknologi GPS masa hakiki telah dijalankan ke atas Jambatan Humber di United Kingdom. Seterusnya Duff dan Hyzak, 1997 pula membuat pengukuran GPS jangka-pendek bagi pergerakan jambatan dibawah pengaruh tiupan angin dan beban laluan. Permukaan profil bagi dek Jambatan Hartman di Houtson (Texas) dan Jambatan Blackwater River di Florida telah dihasilkan dengan kaedah pengukuran Kinematik GPS. Pada masa yang sama, Ashkenazi *et al.* (1997) pula telah menjalankan demonstrasi dimana RTK-GPS boleh memantau pergerakan jambatan dalam masa hakiki. Kejayaan ujian ini telah dilakukan pada titik yang strategik bagi tiga jambatan yang berbeza di United Kingdom iaitu Jambatan Humber, Jambatan Nottingham Clifton dan Jambatan Dee.

Pada masa kini, pemantauan struktur turut dijalankan dengan gabungan alat GPS bersama alat penderia lain seperti alat *accelerometer*. Bagi alat *accelerometer*, ianya telah lama digunakan untuk mengesan pergerakan struktur. Maka data daripada kedua-dua penderia ini boleh dibandingkan dan GPS menunjukkan keputusan yang memuaskan. Sebagai contoh, laporan oleh Celebi dan Sanli (2002) berjaya menggunakan GPS bersama alat *accelerometer* untuk memantau bangunan setinggi 44 tingkat di Los Angeles dan bangunan setinggi 34 tingkat di San Francisco, Amerika Syarikat. Kedua-dua alat dipasang bersama untuk mendapatkan maklumat anjakan bangunan semasa berlakunya gempabumi dan tiupan angin. Data dari GPS yang menggunakan kaedah RTK-GPS memberikan nilai anjakan tanpa melalui sebarang pra-prosesan manakala data dari *accelerometer* memerlukan pengiraan *double integration* sebelum nilai anjakan diperolehi. Hasil pemantauan tersebut menunjukkan bahawa alat GPS berpontensi untuk digunakan dalam kerja-kerja pengukuran pemantauan struktur.

Bermula tahun 1996, Bangunan Republik Plaza di Singapura telah dipasang dengan peralatan *accelerometer* dan *anemometer* untuk mengukur tindakbalas sekiranya berlaku gempabumi dan tiupan angin yang kuat. Walau bagaimanapun, Singapura

adalah negara diluar dari lingkungan zon gempabumi dan tiupan angin taufan. Bangunan Republik Plaza mempunyai ketinggian 280m telah dibina dengan ciri-ciri tahan dari kesan gempabumi dan direka mempunyai kestabilan yang tinggi daripada pengaruh beban tiupan angin. Pada tahun 2000 satu lagi ujikaji telah dijalankan untuk melihat kebolehsanaan alat GPS bergabung dengan sistem yang sedia ada dan cerapan data telah diambil semasa berlakunya tiupan angin kuat (Ogaja *et al.*, 2000). Hasil menunjukkan alat GPS berpotensi untuk diaplikasikan dalam sistem pemantauan struktur.

Di Malaysia, satu kajian pemantauan telah dijalankan oleh Wan Aziz *et al.* (2001) di Bangunan Plaza Komtar, Pulau Pinang. Bangunan setinggi 245m dengan 45 tingkat ini adalah bangunan yang tertinggi di Pulau Pinang. Cerapan data telah dilakukan bagi dua epok yang berbeza iaitu pada Oktober 2000 dan pada Februari 2001. Pada Disember 2004, Wan Aziz *et al.* (2005) sekali lagi membuat ujikaji yang sama yang telah dijalankan ke atas Bangunan Menara Business Sarawak, Johor Bahru yang mempunyai ketinggian 30 tingkat. Memandangkan kawasan kajian bagi kedua-dua bangunan bebas daripada gempabumi dan tiupan angin yang kuat maka ujian kestabilan dinamik tidak dilakukan. Namun begitu, hasil daripada ujian statik menunjukkan kedua-dua bangunan adalah dalam keadaan yang stabil.

Pemantauan struktur tidak akan lengkap jika data yang diperolehi tidak dilakukan analisis ke atasnya. Terdapat pelbagai kaedah analisis yang telah digunakan untuk pemantauan struktur antaranya ialah analisis siri masa. Dalam kajian ini, tumpuan analisis lebih fokus kepada analisis domain masa. Analisis siri masa berjaya digunakan dalam bidang ekonomi. Sebagai contoh, ia digunakan untuk mengetahui pasaran saham, mengetahui hasil pembuatan dan pelbagai komoditi serta kadar faedah. Namun begitu terdapat beberapa contoh kajian lain yang menggunakan analisis siri masa untuk pemantauan struktur seperti Sohn *et al.* (2000). Mereka menjalankan kajian berkaitan dengan analisis siri masa untuk pemantauan kesihatan struktur untuk struktur kejuruteraan.

Seterusnya kajian yang dijalankan oleh Moyo dan Brownjohn (2002) telah menggunakan analisis *intervention* untuk menganggarkan data siri masa regangan disamping untuk melihat kesan dan perubahan yang berlaku semasa jambatan berada dalam tempoh pembinaan. Terdapat kajian lain yang mengkaji kesesuaian formula *vector seasonal autoregressive integrated moving average* terhadap isyarat regangan (Omenzetter *et al.*, 2006).

Pada masa kini, kajian mengenai kaedah analisis siri masa masih baru di Malaysia. Dalam kajian ini, data GPS diperolehi daripada kaedah kinematik masa hakiki (RTK-GPS) untuk menjalankan Ujikaji Jambatan Gegar. Data tersebut digunakan untuk membangunkan model ramalan *Auto Regressive Integrated Moving Average* (ARIMA) bagi mengesan perubahan yang berlaku terhadap sesebuah struktur. Model ramalan ini dibangunkan dengan menggunakan pendekatan yang diasaskan oleh Box-Jenkins. Model ramalan ini mampu untuk mengesan perubahan yang berlaku dalam sistem pemantauan struktur yang menggunakan GPS.

1.2 Pernyataan Masalah

Bidang kejuruteraan awam sangat sinonim dengan aktiviti pemantauan struktur. Dalam bidang ini terdapat kod khas yang direka untuk digunakan dalam analisis dan prosedur rekabentuk bagi memastikan struktur yang dibina selamat. Setiap struktur yang besar, tinggi dan panjang pasti berpengalaman berhadapan dengan situasi ekstrem seperti gempa bumi, tiupan angin yang kuat dan faktor-faktor lain yang menyebabkan berlakunya kerosakan struktur sama ada kecil atau besar. Namun begitu, bagi struktur yang mengalami kerosakan yang kecil lama kelamaan kerosakan tersebut akan menjadi besar kerana bangunan itu tidak lagi kukuh disebabkan oleh faktor beban. Maka pemantauan yang berterusan diperlukan untuk memastikan keadaan struktur dari masa ke masa adalah dalam keadaan yang selamat.

Secara umumnya, pendekatan yang digunakan dalam pemantauan struktur adalah mengukur tindakbalas struktur untuk mengetahui parameter penting yang terlibat dan seterusnya parameter ini digunakan untuk meramal keadaan semasa struktur terbabit. Kebiasaannya parameter yang digunakan untuk mengesan kerosakan adalah *modal frequencies*, *damping ratios* dan *mode shapes*. Kajian yang dilakukan oleh Bisht (2005) dalam bidang kejuruteraan awam menggunakan beberapa kaedah untuk menganggar dan mengesan kerosakan seperti berikut:

- i. *Wavelet Transform*
- ii. *Empirical Mode Decomposition dan Hilbert Huang Transform*
- iii. *Parametric System Identification*
- iv. *Peak Picking*

Analisis siri masa juga telah digunakan oleh Peeters dan Roeck (1999) untuk mengkaji kemampuan domain masa dalam sistem pengenalpastian semasa pemantauan struktur. Secara ringkasnya, kajian tersebut menerangkan penggunaan *stochastic realization algorithm*, kaedah *stochastic subspace identification* dan kegunaannya dalam modal analisis. Ini menunjukkan bahawa getaran struktur yang disebabkan oleh beban yang tidak ketahui boleh dimodelkan sebagai *stochastic subspace identification*.

Kajian lain oleh Pandit *et al.* (1983) menggunakan model *Auto Regressive Moving Average* (ARMA) untuk sistem pengenalpastian dalam bidang kejuruteraan awam. Model ini telah berjaya membuktikan kemampuannya mengesan kerosakan tetapi kerosakan yang berjaya dikesan tidak secara keseluruhan struktur tersebut. Oleh itu, kajian ini menggunakan model daripada kumpulan yang sama cuma pendekatannya sedikit berbeza daripada aspek kaedah yang digunakan untuk membangunkan model ramalan tersebut. Kajian ini telah menggunakan pendekatan dalam metodologi *Box-Jenkins* untuk membangunkan model ramalan berdasarkan cerapan data daripada penerima GPS.

Kesimpulannya, konsep siri masa telah banyak digunakan dalam pemantauan kesihatan struktur. Oleh itu, kajian ini telah menggunakan analisis siri masa untuk membangunkan model ramalan bagi mengesan perubahan yang berlaku terhadap struktur sepanjang cerapan pemantauan dijalankan. Kajian ini juga ingin mengesahkan bahawa model ramalan ARIMA mampu digunakan untuk analisis pengenalpastian terhadap perubahan struktur.

1.3 Tujuan dan Objektif Kajian

Tujuan utama kajian ini adalah menggunakan konsep analisis siri masa untuk membangunkan model ramalan. Model ini dapat mengesan pergerakan struktur berdasarkan analisis terhadap data yang diperolehi dari penerima GPS. Bagi melaksanakan tujuan ini melibatkan beberapa objektif seperti berikut:

- i. Mengenalpasti model yang boleh digunakan untuk mengesan pergerakan struktur.
- ii. Membangunkan model *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA).
- iii. Menguji kemampuan model ARIMA untuk mengesan sebarang pergerakan pergerakan yang berlaku pada struktur.

1.4 Metodologi Kajian

Metodologi kajian adalah merangkumi beberapa peringkat kerja yang utama iaitu perancangan pengukuran, pengumpulan data, pemprosesan data dan membangunkan model ramalan.

Secara umumnya, objektif kajian dapat dicapai setelah menjalani kerja-kerja perancangan pengukuran (rujuk Seksyen 4.2), pengumpulan data (rujuk Seksyen 4.3) dan pemprosesan data (rujuk Seksyen 4.4). Setelah selesai ketiga-tiga peringkat kerja tersebut maka hasil data cerapan GPS dan *accelerometer* diperolehi. Pada peringkat keempat iaitu membangunkan model ramalan maka cerapan data ini diperlukan untuk membangunkan model ramalan ARIMA. Proses membangunkan model ramalan ini memerlukan tiga peringkat utama iaitu mengenalpastian model, menganggarkan parameter model dan semakan terhadap model tersebut.

Objektif kajian yang pertama dicapai setelah proses mengenalpastian model dijalankan. Semasa peringkat ini, data siri masa disemak dan beberapa proses yang lain diperlukan untuk mengenalpasti model yang sesuai. Seterusnya, objektif kajian yang kedua dicapai setelah model ramalan ARIMA dibangunkan sepenuhnya dan model tersebut memenuhi syarat yang ditetapkan. Akhir sekali objektif kajian yang ketiga dapat dicapai setelah model ramalan siri masa tersebut diuji dengan data siri masa daripada cerapan data GPS dan menghasilkan graf ramalan untuk cerapan data GPS.

1.5 Skop Kajian

Kajian ini merangkumi beberapa aspek penyelidikan seperti (i) pemahaman terhadap konsep, (ii) aplikasi yang perlu dijalankan dan (iii) perlaksanaan. Analisis siri masa bukanlah bidang yang baru tetapi penggunaan analisis siri masa dalam bidang pengukuran dan pemantauan struktur masih diperingkat awal. Maka pemahaman terhadap konsep siri masa perlu ditekankan supaya model yang dibangunkan memenuhi keperluan yang sewajarnya.

Cerapan data RTK-GPS dijalankan untuk mendapatkan data gegaran struktur jambatan. Cerapan ini diambil dengan menjalankan Ujikaji Jambatan Gegar yang

dilakukan di tasik UTM. Ujikaji ini menggunakan penderia GPS dan *accelerometer* disamping beberapa peralatan sampingan seperti *analyzer*, komputer riba dan *pole*. Cerapan dijalankan dalam dua keadaan iaitu ketika jambatan dalam keadaan statik dan ketika jambatan dalam keadaan bergegar. Cerapan data GPS menggunakan kaedah Kinematik masa hakiki (RTK-GPS) dimana kaedah ini terus memberikan bacaan koordinat tanpa perlu diproses manakala data daripada *accelerometer* perlu melalui proses *double integration* sebelum bacaan anjakan diperolehi. Perisian yang terlibat untuk menukar unit pecutan (g) ke unit anjakan(mm) adalah *Dewesoft* versi 6.6.

Data hasil daripada ujikaji tersebut digunakan untuk membangunkan model ramalan ARIMA dengan menggunakan perisian *Minitab*. Model ini adalah model yang berasaskan domain masa dan kajian ini terhad kepada model *Auto Regressive* dan model *Moving Average* sahaja. Pemilihan model perlulah melalui beberapa peringkat penting seperti; (i) *Model identification*, (ii) *Model Estimation*, dan (iii) *Model Checking*. Proses yang seterusnya adalah menggunakan pendekatan oleh AIC (*Akaike Information Criterion*) dan BIC (*Bayesian Information Criterion*) dalam pemilihan akhir model ramalan ini.

1.6 Kepentingan Kajian

Secara amnya, penyelidikan yang dilakukan adalah penting untuk meningkatkan kecekapan dan ketepatan kerja-kerja pemantauan struktur. Kajian ini juga memberi sumbangan baru dari segi penggunaan analisis siri masa yang fokus kepada domain masa terhadap cerapan data RTK-GPS. Analisis siri masa ini telah berjaya digunakan untuk membangunkan model ramalan dan seterusnya digunakan untuk mengesan perubahan yang berlaku terhadap struktur yang terlibat.

1.7 Aliran Penulisan Bab

Keseluruhannya penulisan kajian ini merangkumi enam bab iaitu Bab 1 menjelaskan pengenalan kajian yang merangkumi pendahuluan, pernyataan masalah, matlamat dan objektif kajian, skop kajian dan kepentingan kajian. Bab 2 adalah kajian literatur yang membincangkan secara ringkas pengenalan kepada Sistem Penentuan Lokasi Sejagat (GPS) dan aplikasinya terhadap sistem pemantauan struktur. Di samping itu, penerangan berkaitan dengan kaedah kinematik masa hakiki untuk cerapan data GPS dan juga analisis yang berkaitan dengan siri masa yang digunakan dalam pemantauan struktur turut dibincangkan dalam Bab 2.

Seterusnya, Bab 3 menerangkan konsep analisis siri masa dan kegunaannya dalam bidang pemantauan struktur. Bab ini juga memperincikan kaedah yang digunakan untuk membangunkan model ramalan ARIMA. Bab 4 pula adalah metodologi kajian dimana semua langkah-langkah kerja seperti perancangan pengukuran, pengumpulan data, pemprosesan data dan langkah-langkah membangunkan model ramalan diterangkan dalam bab ini. Bab 5 pula menunjukkan hasil dan analisis yang dijalankan ke atas data GPS dan *accelerometer*. Analisis ini juga berkaitan dengan model ARIMA yang telah dibangunkan. Akhir sekali Bab 6 terdiri daripada kesimpulan kajian dan cadangan yang diutarakan untuk menambahbaikkan kajian ini pada masa akan datang.